
Jurnal ***Rekayasa Elektrika***

VOLUME 11 NOMOR 2

OKTOBER 2014

**Kapasitas Daya Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Alue Dua Aceh
Utara** 54-61

Asri

JRE	Vol. 11	No. 2	Hal 45-78	Banda Aceh, Oktober 2014	ISSN. 1412-4785 e-ISSN. 2252-620X
-----	---------	-------	-----------	-----------------------------	--------------------------------------

Kapasitas Daya Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Alue Dua Aceh Utara

Asri

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh
 Jl. Cot Teungku Nie, Reuleut, Aceh Utara 24355
 e-mail: asri_200671@yahoo.co.id

Abstrak—Keberadaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMh) merupakan salah satu solusi alternatif dari beberapa solusi yang ada di desa Alue Dua Aceh Utara. Permasalahannya adalah tidak sesuai daya yang dibangkitkan oleh generator terhadap debit alir yang tersedia. Pengukuran awal pada saat musim hujan besar debit alir 117 liter per detik, tetapi pada saat musim kemarau debit alir hanya mencapai 36 liter per detik. Sehingga perlu pengaturan terhadap bukaan *vent valve* dan penggunaan beban pada kondisi-kondisi tersebut. Pada musim kemarau debit alir tidak mencukupi, dan perlu dilakukan pengaturan bukaan *vent valve* serta pembatasan daya beban generator. Tujuan yang ingin dicapai yaitu mendapatkan pembangkitan daya listrik yang sesuai terhadap kondisi musim hujan dan kemarau. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengukuran dan pengujian putaran generator terhadap bukaan *valve* secara manual. Langkah pengujian yang dilakukan dengan memutar bukaan *valve* step by step dari 0% sampai 100%. Kemudian diukur putaran turbin dengan menggunakan thaco meter. Hasil yang didapat yaitu kapasitas daya generator sebesar 40 kVA pada musim hujan dengan bukaan *valve* 100% karena sumber energi air mencukupi. Kapasitas daya generator sebesar 12 kVA pada musim kemarau dengan bukaan *valve* 30% karena sumber energi air tidak mencukupi, jika *vent valve* dibuka 100% maka dalam 12 menit sumber air dibak penenang sudah habis.

Kata kunci: *daya, debit alir, vent valve*

Abstract—The utilization of micro hydropower plant is intended for providing electricity at Alue Dua village in North Aceh. A problem associated with the implementation of the micro-hydropower plant in the village is that the water flowrate of the run-of-river is varied at 117 litres per second during the wet season and at 36 litres per second during the dry season. This variation affects the speed of the water turbine and the capacity of power generated by its generator. Therefore to stabilize the output power and voltage of the generator during the course of the year, this paper aims to regulate the intake water flowing into the water turbine by controlling the opening vent valve from 0% up to 100% and controlling the electrical load connected to the generator. The speed of the water turbine was measured using the tachometer. It was found that the generator can produce electricity at its rated power 40 kVA during the wet season by opening the valve at 100% and at 12 kVA with the opening valve at 30% during the dry season. Opening the vent valve at 100% during the dry season can drain the water within 12 minutes.

Keywords: *power, flow discharge, vent valve*

I. PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMh) dibangun di daerah Alue Dua kabupaten Aceh Utara tahun 2011. Di desa Alue Dua Aceh Utara tersebut terdapat sumber air yang mampu menghasilkan energi potensial untuk menggerakkan turbin air. Dari data awal diketahui bahwa kapasitas pembangkit yang mampu dihasilkan diperkirakan dibawah 40 kW. Desa Alue Dua Aceh Utara merupakan desa terpencil dengan jumlah penduduk sekitar 50 kepada keluarga (KK). Pada saat itu warga desa Alue Dua Aceh Utara belum merasakan pelayanan energi listrik dari PLN. Kronologis operasi sistem PLTMh ini pada awalnya kurang tuntas, dimana dalam pengujian hanya dilakukan pembebanan selama 30 menit selanjutnya turbin tersebut tidak dioperasikan kembali karena debit alir tidak mencukupi, sehingga turbin tersebut terbelengkalai sampai sekarang. Sebenarnya keberadaan Pembangkit Listrik

Tenaga Mikrohidro (PLTMh) merupakan salah satu solusi alternatif dari beberapa solusi yang ada, terutama untuk daerah-daerah yang masih terpencil yang belum mendapat pelayanan energi listrik.

Ada beberapa kelemahan dari pembangkit mikrohidro yaitu turbin air yang digunakan tidak menggunakan governor untuk mengatur putaran turbin dengan mengatur bukaan *valve gate* aliran debit air. Sehingga permasalahan yang timbul yaitu putaran tidak akan stabil bila beban pada konsumen berubah-ubah.

Pada kondisi beban puncak maka hampir semua daya yang dihasilkan generator dikonsumsi oleh beban pada konsumen, sehingga putaran generator sesuai yang diharapkan untuk mencapai frekuensi 50 Hz, tetapi ketika beban yang diperlukan adalah lebih rendah dari daya yang dihasilkan oleh generator, maka tegangan dan kecepatan generator akan meningkat, sehingga akan menyebabkan masalah kerusakan peralatan listrik pada konsumen.

Walaupun pengatur tegangan dapat dilakukan oleh AVR dengan mengatur eksitasi generator, tetapi AVR juga memiliki batasan tertentu untuk mengimbangi putaran yang diterima generator. Pengaruh yang ditimbulkan akibat kekurangan dan kelebihan eksitasi yang terlalu jauh akan mempengaruhi faktor daya sistem. Jika beban pada konsumen terus menurun maka pada akhirnya generator terus meningkatkan frekuensi karena putaran turbin meningkat. Jika ada peralatan yang berkenaan dengan frekuensi seperti motor listrik tentunya menimbulkan masalah.

Pada prinsipnya secara logika dimana daya generator yang diberikan harus sama dengan beban yang diserap konsumen. Bila beban konsumen tidak mencapai daya rating generator, maka harus ada beban yang dihubungkan untuk mengambil alih sisa dayanya. Untuk mengatasi masalah seperti itu, maka dibangunlah sebuah perangkat pengendali beban elektronik atau dikenal dengan nama *Electronic Load Controller* (ELC). Penggunaan ELC merupakan teknik yang digunakan pada sistem PLTMh, dengan memberi beban generator untuk selalu beroperasi pada beban penuh. Dengan demikian putaran generator akan terjaga konstan. Metode ini dilakukan dengan cara memasang beban resistif (*ballast loads*) pada sistem. *Ballast load* diatur secara otomatis sebagai kompensasi perubahan beban pada konsumen [2].

Dalam penelitian ini yang menjadi permasalahan adalah tidak sesuainya daya yang dibangkitkan oleh generator terhadap debit alir yang tersedia. Pada saat pengukuran awal diperhitungkan besar debit alir 117 liter per detik, pengukuran tersebut kemungkinan dilakukan pada musim hujan, tetapi pada kenyataan pada musim kemarau debit alir hanya mencapai 36 liter per detik.

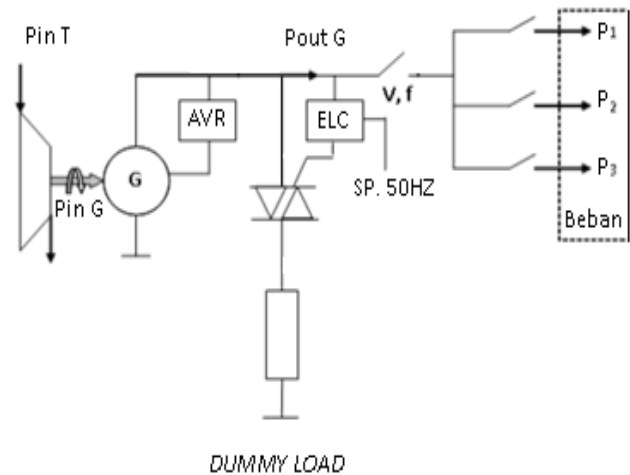
Tujuan yang ingin dicapai yaitu mendapatkan pembangkitan daya listrik yang sesuai dari kondisi yang ada, dimulai dari pipa pesat, turbin air, generator kemudian menghitung kapasitas ELC *ballast load* untuk penstabil tegangan dan frekuensi sumber generator sebagai penyedia daya listrik, dan seberapa besar kapasitas *ballast load* sehingga mampu menstabilkan tegangan dan frekuensi sesuai kondisi karakteristik pembebanan konsumen di Alue Dua Aceh Utara.

Permasalahan kapasitas *ballast load* yang tidak sesuai akan mempengaruhi kestabilan tegangan dan frekuensinya. Konsekuensinya adalah peralatan pengguna energi listrik menjadi rusak atau terbakar karena tegangan dan frekuensi yang melebihi standart.

Hasil yang ingin dicapai yaitu menentukan pembangkitan daya listrik yang optimal dari kondisi yang ada, kemudian menentukan kapasitas ELC *ballast load* untuk penstabil tegangan dan frekuensi sumber generator sebagai penyedia daya listrik untuk masyarakat.

II. LATAR BELAKANG

Potensi kelistrikan tenaga air di Nusantara sesuai data saat ini mencapai 72.000 MW, dimana 10 persennya atau 7.500 MW saja yang masih dapat dimanfaatkan untuk



Gambar 1. Sistem PLTMh dengan *dummy load*

sistem PLTMh [8].

Secara skematik prinsip PLTMH ditunjukkan pada Gambar 1. PLTMH mempunyai *head* (ketinggian) dan debit air konstan, sehingga daya potensial air yang masuk ke turbin (PinT) juga konstan. Dengan demikian daya masukan (poros) generator (PinG) juga akan konstan. Sementara itu, besar daya keluaran generator (PGen) yang disuplai ke beban (PBeban) akan selalu berubah sesuai dengan kebutuhan konsumen.

A. Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air

Turbin yang baik yaitu turbin yang memiliki efisiensi antara 80% sampai 90%. Turbin mini dan mikro hidro yang berukuran kecil dengan daya dibawah 100 kW hanya memiliki efisiensi 60% sampai 80% saja [3]. Yang membedakan antara istilah Mikrohidro dengan Minihidro adalah output daya yang dihasilkan. Mikrohidro menghasilkan daya lebih rendah dari 100 kW, sedangkan untuk Minihidro daya keluarannya antara 100 kW sampai 1 MW. Kapasitas pembangkit dapat di klasifikasikan yaitu: *Micro-hydro* dengan kapasitas 1kW sampai dengan 100 kW, *Mini-hydro* mampu menghasilkan daya antara 100 kW dan 1 MW, sedangkan *Small-hydro* mempunyai kapasitas 1 MW –10 MW, sementara *Medium-hydro* dapat memberikan daya sebesar 10 MW - 100 MW, dan terakhir *Large-hydro* dengan daya keluaran di atas 100 MW.

Secara teknis, Mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi), turbin dan generator. Air yang mengalir dengan kapasitas dan ketinggian tertentu di salurkan menuju rumah instalasi (rumah turbin). Kapasitas daya Air dapat ditentukan terkait dengan ketinggian dan debit alir tersebut dengan persamaan [4].

$$\text{Daya Air} = \eta \times g \times H \times Q \times \rho \quad (\text{Watt}), \quad (1)$$

dimana, H adalah Ketinggian air (m); Q adalah debit alir (m³/detik); g sebagai gravitasi bumi (m/det²); η sama dengan efisiensi turbin air; dan ρ adalah water density (1000 Kg/m³).

B. Hubungan Ketinggian, Debit Alir terhadap Daya Turbin

Daya yang dihasilkan oleh turbin akan tergantung terhadap ketinggian air dan debit alir. Kurva daya turbin berbanding langsung terhadap ketinggian dan debit alir, hubungan tersebut seperti kurva yang ditunjukkan pada Gambar 2 [1].

C. Hubungan Ketinggian, Debit Alir terhadap Kecepatan Turbin

Kecepatan yang dihasilkan oleh turbin akan tergantung terhadap ketinggian air dan debit alir. Kurva daya turbin berbanding langsung terhadap ketinggian dan debit alir, hubungan tersebut seperti kurva yang ditampilkan pada Gambar 3 [1].

D. Generator

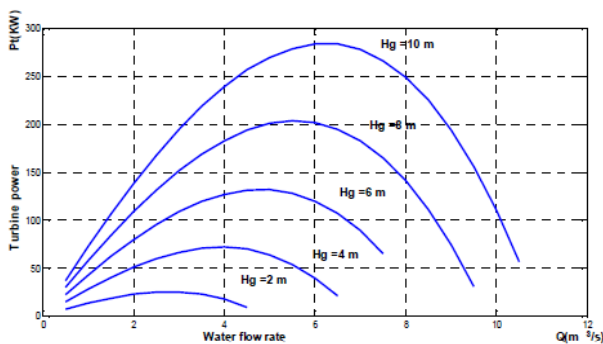
Prinsip kerja dari sebuah generator AC yaitu generator memiliki lilitan dalam masing-masing fasa yang terdistribusi pada masing-masing alur stator. Kemudian rotor generator diputar oleh turbin, maka fluks medan rotor bergerak, dengan demikian kumparan stator mendapat imbas fluks magnet dari rotor, sehingga terbangkit tegangan induksi yang besarnya,

$$E = 4,44 \times f \times N \times \Phi \tag{2}$$

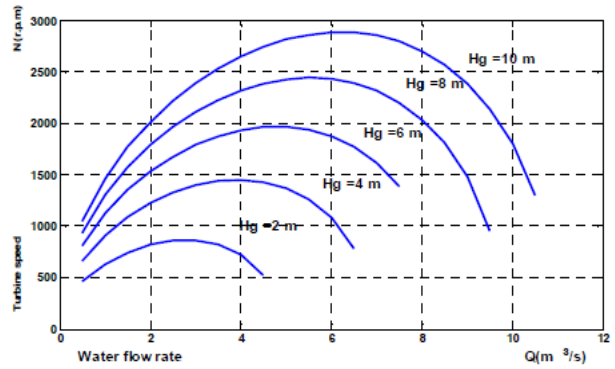
Kapasitas generator listrik terkait dengan daya air dapat ditentukan dengan Persamaan (3),

$$P = 7,8 \times Q_o \times H \tag{3}$$

Kecepatan rotor dan frekuensi dari tegangan yang dibangkitkan oleh suatu generator sinkron berbanding lurus. Satu putaran rotor dalam satu detik menghasilkan satu siklus per detik atau 1 Hertz (Hz). Bila kecepatannya 60 Revolution per menit (Rpm), frekuensi 1 Hz. Maka untuk frekuensi $f = 60$ Hz, rotor harus berputar 3600 Rpm. Untuk kecepatan rotor n rpm, rotor harus berputar pada kecepatan $n/60$ revolution per detik (rps). Bila rotor mempunyai lebih dari 1 pasang kutub, misalnya P kutub maka masing-masing revolution dari rotor menginduksikan



Gambar 2. Hubungan daya turbin terhadap ketinggian dan debit alir



Gambar 3. Hubungan kecepatan turbin terhadap ketinggian dan debit alir

P/2 siklus tegangan dalam lilitan stator. Frekuensi dari tegangan induksi sebagai sebuah fungsi dari kecepatan rotor, dan diformulasikan dengan:

$$f = \frac{P}{2} \times \frac{n}{60} \text{ (Hz)} \tag{4}$$

Ketentuan standar nilai tegangan, frekuensi, dan harmonisa pada sistem memiliki batas yang ditentukan oleh PERMEN ESDM No. 3 tahun 2007 tentang Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik, PERMEN ESDM No. 4 tahun 2009 tentang Aturan Distribusi Tenaga Listrik dimana ketentuan tersebut yaitu [5]: Tegangan Dalam peraturan disebutkan bahwa tegangan pada distribusi tenaga listrik dibatasi pada fluktuasi max +5% dan minimal -10%

- a. Frekuensi Frekuensi nominal 50 Hz dibatasi dalam rentang 49,5 -50,5 Hz
- b. Batas Total Harmonic Distortion 5%

Penentuan standar tegangan, frekuensi dan harmonisa tentunya memiliki tujuan yaitu,

1. Tujuan tegangan harus tetap konstan pada berbagai kondisi dan perubahan beban yaitu,
 - a. untuk menghindari kerusakan peralatan sumber tegangan dan beban pada sisi konsumen
 - b. kenyamanan pengguna energi listrik
2. Tujuan frekuensi harus tetap konstan pada berbagai kondisi dan perubahan beban terlebih lebih pada saat beban lepas yaitu,
 - a. untuk menyelamatkan peralatan mekanik pada sisi pembangkit
 - b. untuk menyelamatkan peralatan dari perubahan putaran pada sisi konsumen
 - c. untuk menyelamatkan peralatan dari over load pada saat kecepatan rendah

E. Automatic Voltage Regulator (AVR)

Automatic Voltage Regulator (AVR) berfungsi untuk menjaga agar tegangan generator tetap konstan dengan kata lain generator akan tetap mengeluarkan tegangan yang selalu stabil tidak terpengaruh pada perubahan beban yang selalu berubah-ubah, dikarenakan beban sangat mempengaruhi tegangan output generator.

Prinsip kerja dari AVR adalah mengatur arus penguatan (*excitacy*) pada *exciter*. Apabila tegangan output generator

di bawah tegangan nominal tegangan generator, maka AVR akan memperbesar arus penguatan (*excitacy*) pada *exciter*, dan juga sebaliknya apabila tegangan output generator melebihi tegangan nominal generator maka AVR akan mengurangi arus penguatan pada *exciter*. Dengan demikian apabila terjadi perubahan tegangan output generator akan dapat distabilkan oleh AVR secara otomatis dikarenakan dilengkapi dengan peralatan seperti alat yang digunakan untuk pembatasan penguat minimum ataupun maximum yang bekerja secara otomatis.

F. Electronic Load Control (ELC)

ELC hanya difungsikan sebagai pengontrol pembuangan daya ke *ballast load* pada saat pembangkit belum siap untuk dihubungkan ke jaringan. Belum siap disini dalam artian bahwa besar tegangan dan frekuensi untuk sesaat belum mencapai nilai nominal yang diijinkan untuk diparalelkan dengan jaringan. Oleh karena itu, daya yang dihasilkan oleh generator pada kondisi ini akan dialirkan menuju ke *ballast load* untuk dibuang sebagai panas [2] seperti Gambar 4.

Prinsip kerja dari ELC secara sederhana dapat dijelaskan yaitu apabila daya yang diserap oleh konsumen berubah akan terdeteksi oleh ELC dan dengan segera merubah daya yang masuk ke *ballast load*. Sistem *ballast load* ELC pada masing-masing phase terdapat dua *ballast*. Untuk pengaturan arus *ballast* digunakan SCR. SCR tidak lain merupakan saklar elektronik yang mengatur besar kecilnya daya yang dibuang ke *ballast load*, yang mana SCR dikontrol oleh ELC secara otomatis [6-8].

Keunggulan dan kekurangan kontrol beban dengan

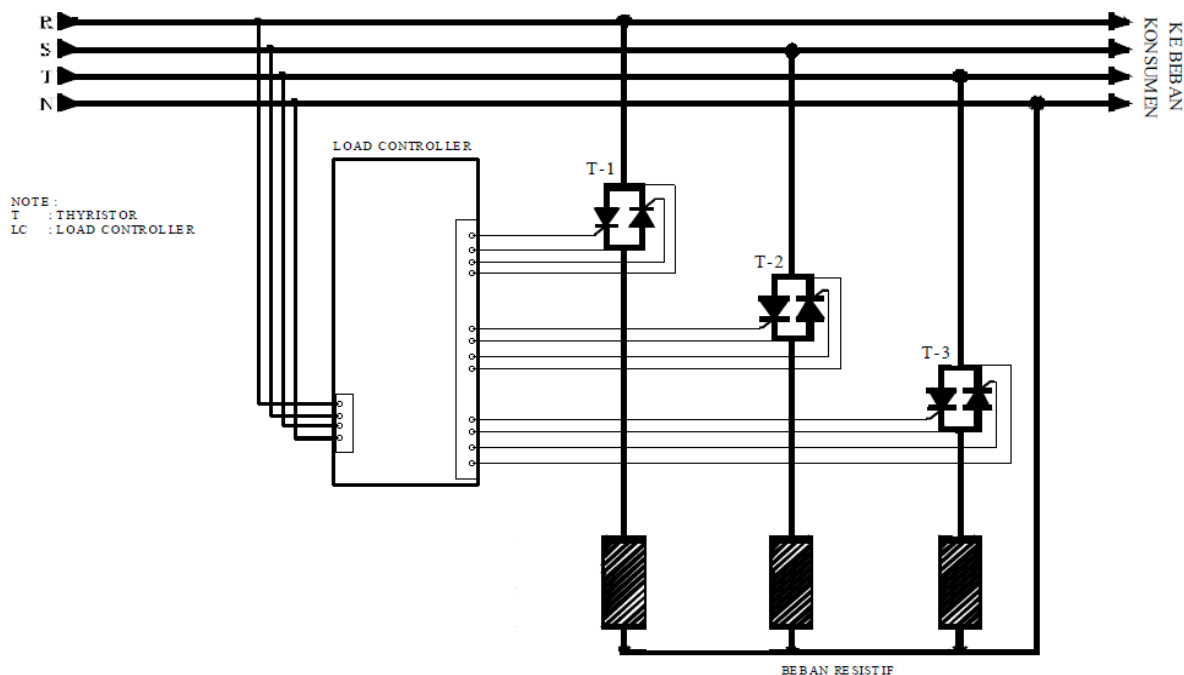
menggunakan ELC (*Ballast Load*) yaitu:

1. Respon cepat cocok untuk daya kecil (terbatas < 250 kW)
2. Murah
3. Pemasangan mudah
4. Perawatan mudah
5. Sederhana/simpel
6. Gelombang tegangan mempunyai distorsi harmonic yang besar
7. Ada gangguan suara menderu pada beban audio
8. Flow air kontinyu sehingga tidak dapat dilakukan penghematan penggunaan energi air
9. Bisa digunakan untuk MODE interkoneksi ataupun stand alone operation

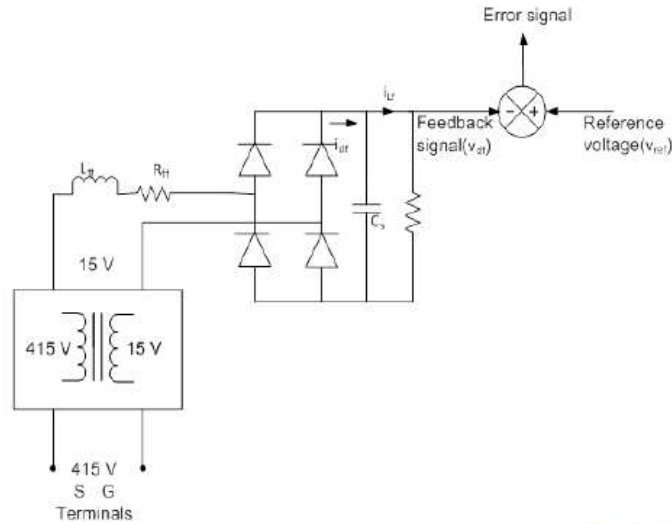
G. Kapasitas Ballast Load

Besarnya daya yang akan dibuang ke *ballast load* perlu diperhatikan. Oleh karena itu, harus ditentukan berapa daya maksimal yang akan dibuang ke *ballast load*. Hal ini bertujuan agar pada saat terjadi perubahan beban, pembuangan daya ke *ballast load* tidak melebihi daya yang masih tersalur kepada konsumen sehingga nilai daya pembangkitan dapat lebih efektif. Penentuan besarnya kapasitas daya terbuang ke *ballast load* dapat ditentukan melalui besarnya arus yang dilewatkan oleh *thyristor* dan besarnya beban resistif yang dipakai sebagai *ballast load*. Ini terkait karena daya beban yang dibuang ke *ballast load* merupakan komponen beban aktif yang dirumuskan dengan,

$$P = 3 \times I^2 \times R, \quad (5)$$



Gambar 4. Pengaturan beban *ballast load*



Gambar 5. Sensor tegangan

dimana, P adalah daya yang dibuang ke *ballast load*; I sebagai Arus yang dilewatkan oleh *thyristor* dan R sama dengan Beban resistif yang dipasang sebagai *ballast load*.

III. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengukuran dan pengujian putaran generator terhadap bukaan *valve* secara manual. Langkah pengujian yang dilakukan yaitu memutar bukaan *valve* *step by step* dari 0% sampai 100%. Kemudian diukur putaran turbin dengan menggunakan thaco meter. Selanjutnya kita lihat pembacaan thaco meter tersebut.

Data peralatan yang digunakan dalam pengukuran dan pengujian diberikan pada Tabel 1.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengukuran adalah sebagai diuraikan berikut ini. Ketinggian air efektif dari hasil pengukuran sebesar 50 meter. Ukuran pipa pesat = 9 inch.

A. Pengukuran Kecepatan Alir Kondisi Musim Hujan

Menentukan debit alir air sangat diperlukan untuk menghitung daya yang dapat dibangkitkan oleh air tersebut. Untuk menentukan debit alir air yang mengalir pada saluran menuju bak penenang dengan potongan seperti Gambar 6.

Tabel 1. Peralatan pengukuran

No.	Nama Alat	Spesifikasi
1.	Alat ukur debit alir	Mini air 20 schiltknecht made swiss
2.	Alat ukur ketinggian	Nikon forestry 550 laser range finder
3.	Tacho meter	DT-2236
4.	Meteran panjang	Krisbon 20 meter

Pengukuran kecepatan aliran dilakukan dengan menggunakan Mini air 20 schiltknecht pada tiga titik seperti Gambar 6. Dengan data pengukuran sebagai berikut:

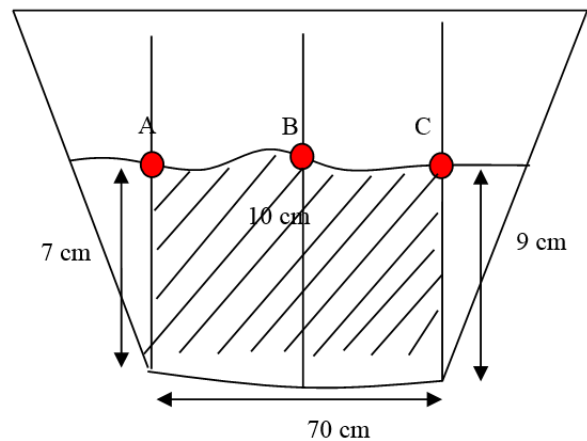
- Kecepatan air di titik A, $V_A = 1,85$ m/det
- Kecepatan air di titik B, $V_B = 2$ m/det
- Kecepatan air di titik C, $V_C = 1,92$ m/det
- Kecepatan air dalam pipa = 2,41 m/det

B. Perhitungan Debit Alir pada Saluran

$$\text{Kecepatan rata-rata air} = \frac{1,85 + 2 + 1,9}{3} = 1,92 \text{ m/det}$$

- Ketinggian air di titik A, $V_A = 7$ cm
- Ketinggian air di titik B, $V_B = 10$ cm
- Ketinggian air di titik C, $V_C = 9$ cm

$$\text{Ketinggian rata-rata air} = \frac{7 + 9 + 10}{3} = 8,7 \text{ cm} = 0,087 \text{ m}$$



Gambar 6. Potongan saluran aliran ke bak penenang

Luas yang diarsir = $0,087 \text{ m} \times 0,7 \text{ m} = 0,061 \text{ m}^2$

Besar debit alir = $0,061 \times 1,92 = 0,117 \text{ m}^3/\text{det}$ atau 117 liter per detik.

C. Pengukuran Debit Alir Kondisi Musim Kemarau

Dari pengukuran ulang yang dilakukan dengan metode yang sama seperti saat musim hujan dengan kecepatan alir rata-rata $0,591 \text{ m}/\text{det}$, dengan debit alir sebesar 36 liter/det, dimana pada kondisi tersebut pengujian dilakukan dengan bukaan *valve vent* 100% hanya mampu bertahan 30 menit. Artinya air pada bak penenang hanya mampu menggerakkan turbin selama 30 menit, setelah itu air pada bak penenang tersebut habis. Selanjutnya *vent valve* ditutup dan kemudian bak penenang penuh lagi selama 12 menit.

D. Debit Alir dalam Pipa Pesat

Ukuran diameter pipa pesat 9 inch atau sama dengan 22,86 cm (0,23 m), sehingga luas pipa pesat (L) dihitung sebagai berikut:

$$L = \pi r^2 = 3,14 \times (0,115)^2 = 0,0415 \text{ m}^2,$$

Debit alir dalam pipa = $0,0415 \times 2,41 = 0,1 \text{ m}^3/\text{det}$ Atau 100 liter per detik.

Supaya turbin bekerja secara kontinu, maka bukaan *vent valve* kondisi musim hujan dan kemarau yaitu;

$$\% \text{ bukaanValve} = (Q / 100 \text{ liter / detik}) \times 100\%$$

Bukaan *valve* pada musim hujan:

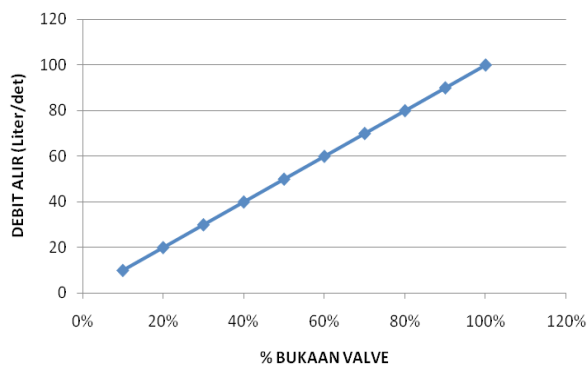
$$\% \text{ bukaanValve} = (100 / 100) \times 100\% = 100 \%$$

Bukaan *valve* pada musim kemarau:

$$\% \text{ bukaanValve} = (36 / 100) \times 100\% = 36 \%$$

Secara grafik dapat digambarkan seperti Gambar 7 yaitu pada kondisi hujan dengan bukaan *vent valve* 100% turbin bekerja secara kontinu, dimana sisa debit alir yang masuk dan yang keluar dari bak penenang sebesar 117 liter/det dikurangi 100 liter/det sehingga sisa 17 liter/det.

Pada musim kemarau dari karakteristik Gambar 4, maka bukaan *valve* dilakukan pada 30% dengan tujuan



Gambar 7. Hubungan bukaan valve terhadap debit alir

supaya ada sisa pada bak penenang sebesar 36 liter/det dikurangi 30 liter/det sehingga sisa 6 liter/det, dengan demikian turbin berkerja secara kontinu.

E. Kapasitas Turbin dan Generator Musim Hujan

Kapasitas turbin air dapat ditentukan dengan Persamaan (1) dengan $\rho = 1$ dengan bukaan *vent valve* 100% yaitu,

$$\text{Daya Turbin} = \gamma \times g \times H \times Q \times \rho \text{ (Watt)},$$

$$\text{Daya Turbin} = 0,8 \times 9,8 \times 50 \times 0,1 = 39,2 \text{ kW}$$

Daya output generator yang dapat dimanfaatkan dapat dikalkulasi dengan persamaan 3 yaitu,

$$\text{Daya Generator} = \gamma \times \text{Daya turbin},$$

$$\text{Daya Generator} = 0,8 \times 39,2 = 31,36 \text{ kW},$$

atau dibulatkan 40 kVA jika PF = 0,8.

F. Kapasitas Turbin dan Generator Musim Kemarau

Kapasitas turbin air dapat ditentukan dengan Persamaan (1) dengan $\rho = 1$ dan bukaan *vent valve* 30% yaitu,

$$\text{Daya Turbin} = \gamma \times g \times H \times Q \times \rho \text{ (Watt)},$$

$$\text{Daya Turbin} = 0,8 \times 9,8 \times 50 \times 0,03 = 11,76 \text{ kW}.$$

Daya output generator yang dapat dimanfaatkan dengan Persamaan (3) yaitu,

$$\text{Daya Generator} = \gamma \times \text{Daya Air},$$

$$\text{Daya Generator} = 0,8 \times 11,76 = 9,41 \text{ kW},$$

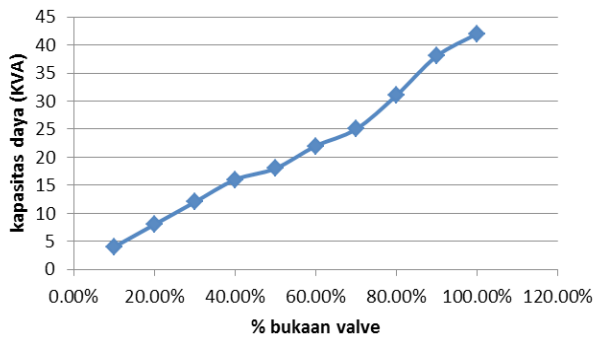
atau dibulatkan 12 kVA jika PF = 0,8.

G. Karakteristik Beban

Karakteristik beban sangat bervariasi mulai dari nol beban sampai beban maksimum. Hanya yang membedakan adalah kondisi pembebanan pada musim kemarau maksimum 12 kVA, dan dimusim hujan dapat mencapai pembebanan sebesar 40 kVA. Rancangan awal yang dilakukan sudah sesuai, hanya saja pengaturan bukaan *valve* dan kapasitas ELC yang perlu dihitung.

H. Kapasitas Ballast Load

Jika kondisi karakteristik beban seperti yang sudah dijelaskan, dimana beban tidak kontinu selama 24 jam. Jika beban hidup terus tanpa ada pemutusan, maka kapasitas *ballast load* di pilih pada kapasitas beban konsumen terendah. Dimana daya *ballast load* sama dengan kapasitas generator dikurangi dengan jumlah pemakaian beban konsumen. Jika kondisi karakteristik beban seperti yang sudah dijelaskan, maka kapasitas



Gambar 8. Karakteristik bukaan valve terhadap daya

ballast load minimal sama dengan kapasitas generator. Hal ini dilakukan untuk menghindari kondisi beban nol pada konsumen. Artinya keseluruhan beban generator harus mampu dipikul oleh *ballast load*, dengan syarat generator tersebut tidak boleh bekerja lama, karena generator akan bekerja secara maksimum secara kontinu.

Dari data pengukuran tersebut pada musim hujan terlihat pada Gambar 8, bahwa kapasitas generator kondisi bukaan *valve* 100% mampu mengeluarkan daya sebesar 40 kVA. Artinya kapasitas turbin dan ukuran pipa pesat sesuai dengan kapasitas air yang tersedia sesuai perhitungan daya turbin. Kondisi musim kemarau bukaan *valve* 30%, generator harus mampu menghasilkan daya 12 kVA. Dari data name plate generator kapasitas generator sudah sesuai yaitu sebesar 45 kVA, 220/380 Volt, 1500 Rpm, 50 Hz.

Kapasitas *ballast load* juga disesuaikan dengan daya generator yaitu sebesar 40 kVA. Jika generator bekerja pada tegangan 230/380 Volt, maka tahanan dari *ballast load* sebesar,

Tabel 2. Kapasitas air musim hujan

Musim	Head: 50 m	Debit 117 ltr/det	Daya 39,2 kW (Maksimum)
Musim Hujan	Debit tidak sesuai	Debit sungai/musim	Kapasitas konst. sipil
Musim	Head : 50 m	Debit 36 ltr/dt	Daya 11,76 kW Maksimal
Musim Kemarau	Debit tidak sesuai	Debit Sungai / musim	Kapasitas Konst.Sipil

Tabel 3. Spesifikasi pipa pesat dan turbin

Penstock	Bahan/Diameter	Merk
Pipa Pesat	Baja	PVC (<i>supplier</i> baja)
Tipe Turbin/ <i>Crossflow</i>	300 mm/150 mm	Putra Dayung/T14

Tabel 4. Spesifikasi generator

Tipe Generator	<i>Sync/Async/brush</i>
Kapasitas/Tegangan	40 kVA/(220V/380V)
Jumlah fasa/Putaran	3 fasa/ 1500 rpm

Tabel 5. Spesifikasi kontrol panel

Parameter	<i>String Value</i>
Tipe/ <i>Merk</i>	ELC/ PME
Kapasitas	40 kW
Kapasitas MCB	60 A
SCR/TRIAC	100 A
<i>Ballast Load</i>	40 kW (3,7 Ω)
Tipe Kabel Generator	NYY (Extrana), diameter: 4 x 16 mm ²
Tipe Kabel Konsumen	NFAZK (Daisaku), diameter: 4 x 35 mm ²

$$R = \frac{40000}{3 \times I^2}$$

Dimana perhitungan variabel arus dapat dikalkulasikan sebagai berikut:

$$I = \frac{40000}{\sqrt{3 \times 380}} = 60,77 \text{ atau } 60 \text{ Ampere,}$$

sehingga,

$$R = \frac{40000}{3 \times (60)^2} = 3,7 \Omega$$

Data kapasitas air hujan pada musim hujan dan musim kemarau ditabulasikan pada Tabel 2. Sedangkan, data spesifikasi bahan dan peralatan yang digunakan diberikan pada Tabel 3, 4, 5, dan 6.

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa kondisi PLTMH Alur Dua dapat menghasilkan daya 40 kVA pada musim hujan dengan bukaan *guidevane* 100% dan pada musim kemarau hanya menghasilkan 12 kVA dengan bukaan *guidevane* 30% hal ini dipengaruhi oleh kondisi debit air 117 liter per detik pada musim hujan dan 36 liter per detik pada musim kemarau. Untuk menjaga kestabilan generator menggunakan beban penyeimbang yaitu *ballast load* yang dikendalikan oleh *elektronik load control (ELC)*, kapasitas *ballast load* sebesar 40 kW dengan besar tahanan 3,7 Ohm. Jika *ballast load* tidak sesuai, maka mengakibatkan putaran turbin akan naik, dengan demikian tegangan dan frekuensi sistem akan naik juga sehingga tidak sesuai standar yang diizinkan.

REFERENSI

- [1] Nasir B. A., "Design of Micro - Hydro - Electric Power Station," International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), vol. 2, no. 5, pp 39-47, 2013.
- [2] Kapoor P., Phunchok L., Kumar S., Rahi O. P., "Frequency Control Of Micro Hydro Power Plant Using Electronic Load Controller," International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), vol. 2, no. 4, pp. 733-737, 2012.

- [3] Uhumwangho R., Okedu E.K., “*Small Hydropower for Sustainable Development*,” Pacific Journal of Science and Technology, vol. 10, no. 2, pp. 535-543, 2009.
- [4] Khan M.A., Badshah S., “*Design and Analysis of Cross Flow Turbine for Micro Hydro Power Application using Sewerage Water*,” Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, vol. 8, no. 7, pp. 821-828, 2014.
- [5] Tokyo Electric Power Co. (TEPCO), “*Designing Micro-Hydro*,” Workshop in Renewable Energies, Majuro, Republic of the Marshall Islands, 2005.
- [6] Renerconsys, “*Digital Load Controller (DLC) for Induction Generator (IGC) & Synchronous Generator (ELC)*,” [Online]. Available: http://www.renerconsys.com/DLC_Brosure_eng_08.pdf
- [7] Widia R., Yunus D., “*Simulasi Arus Beban PLTMH Menggunakan Pengatur Beban Elektronik ELC Fasa Satu*,” Jurnal Ilmiah Elektron, vol. 2, no. 2, pp. 73-87, 2010.
- [8] Effendy M., “*Desain Kontrol Beban Elektronik pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro*,” Jurnal Ilmiah Semesta Teknik, vol. 12, no. 2, pp. 176-184, 2009.

Penerbit:

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh 23111

website: <http://jurnal.unsyiah.ac.id/JRE>

email: rekayasa.elektrika@unsyiah.net

Telp/Fax: (0651) 7554336

